

スイッチング時のパソコンの動作 (同時スイッチングを含む)

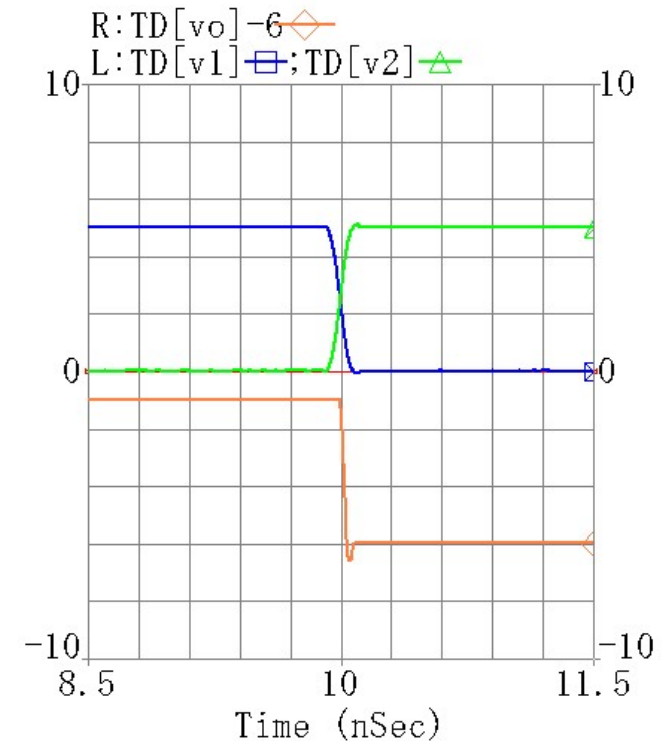
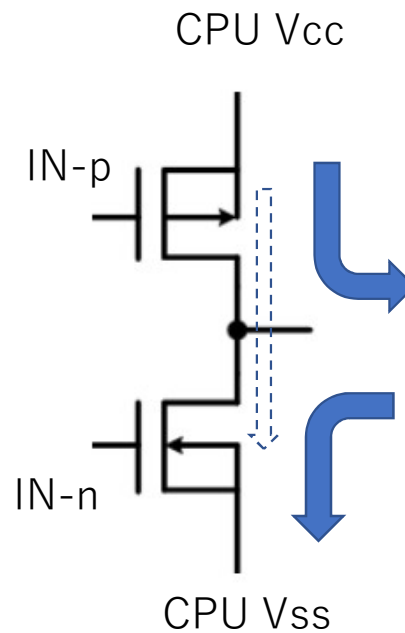
S-NAP PCB Suite 解析サンプル
Sample 3

2018/7/3
MEL Inc.

スイッチングモデルの設定

信号周波数：50MHz

CPUなどデジタルICが動作している場合、その多くがスイッチング動作を行っています。スイッチング動作では、ICの電源とグランド間のインピーダンスがスイッチング信号により変化するため非線形動作になります。IC近傍に配置されたパスコンは、急激な電圧変動を補うとともにノイズをグランドに逃がす働きをしていますが、これらの挙動を解析するには、基板上でICにスイッチング動作をさせ、パスコンの充放電状態を調べる必要があります。今回は、スイッチモデルを2個使用し、スイッチング動作を、ハーモニック・バランス法をベースにした非線形定常解析法を用いてシミュレーションを行いました。



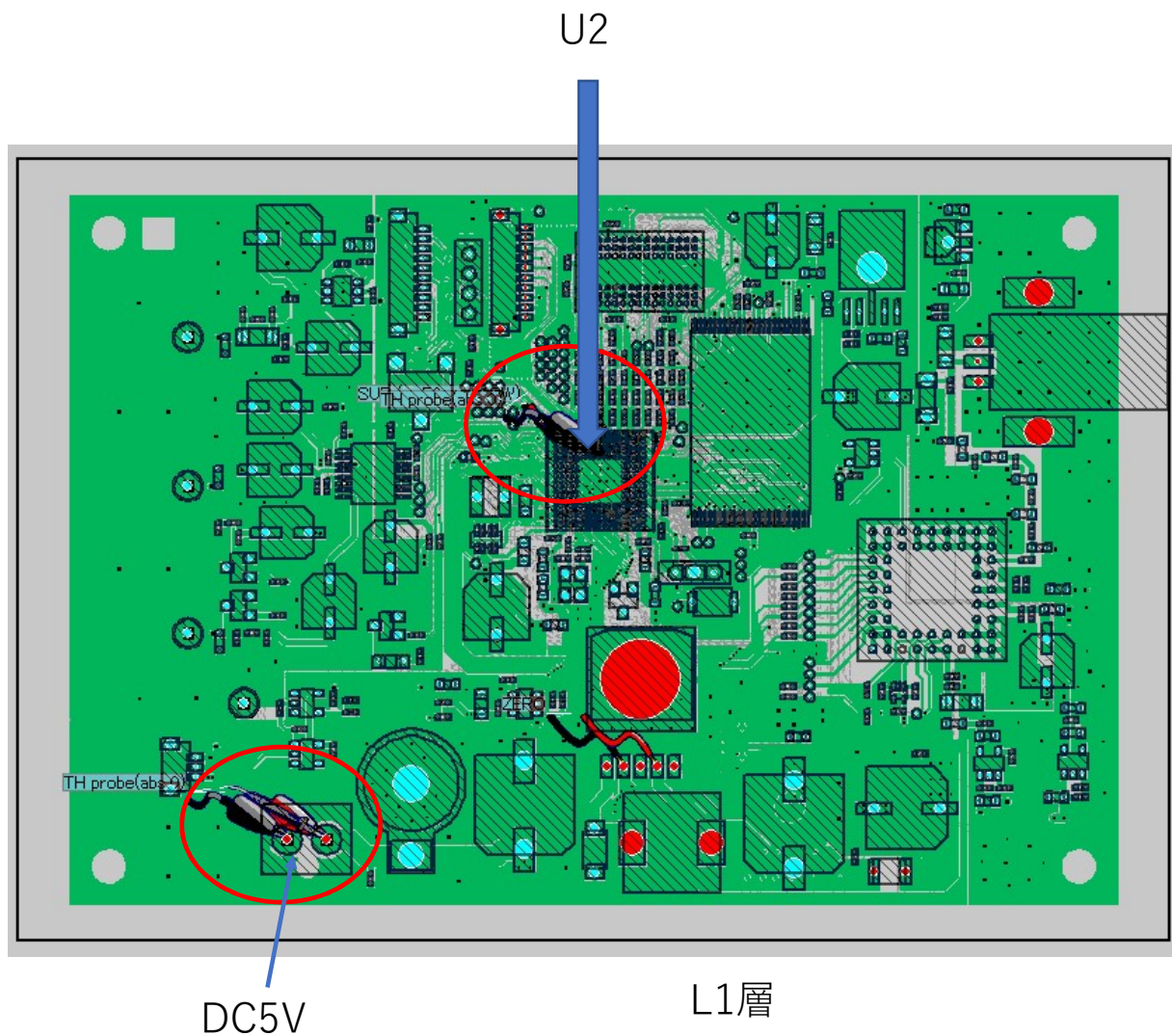
設定したモデルのスイッチング特性

サンプル基板
6層 1388ピン

- ・ CN1にDC 5 Vを印加
- ・ CPU (U2)の電源、グランド間にスイッチングモデルを設定
- ・ 1次解析 (Q-DATA出力) 時間 : 約1時間 (64周波数)



L6層のパソコン
U2のほぼ裏側

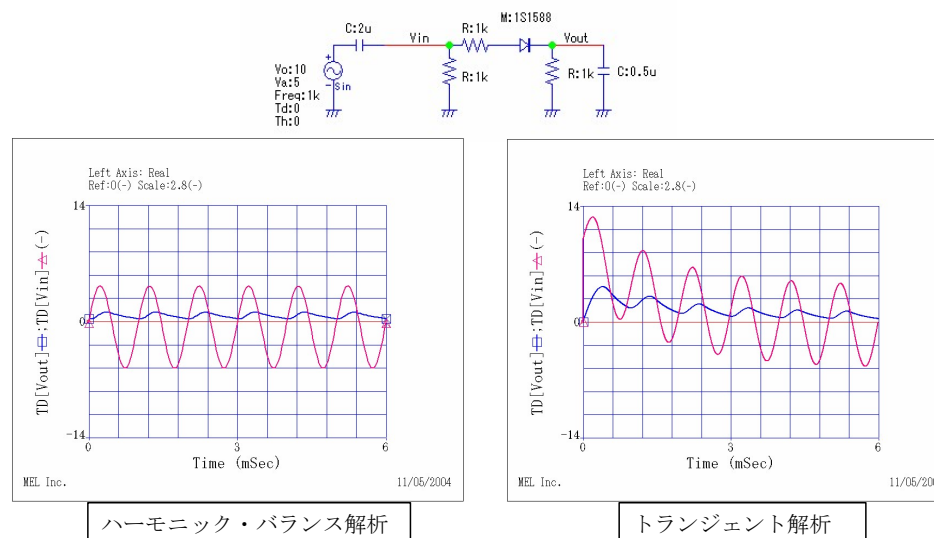


非線形定常応答解析 (ハーモニック・バランス法)

スイッチング素子は非線形動作ですので、同時スイッチング状態でのパスキンの状態を調べるには、基板の電磁界解析データを含めて非線形解析を行う必要があります。SPICEなどで用いられるトランジェント解析は非線形解析を行いますが、この解は図のように過渡解と定常解の合成であり、定常解を得たい場合、過渡解が収束するまで待つ必要があります。回路の時定数が大きい場合、過渡解が収束時間は非常に長くなり、またどの時点で過渡解が収束しているのかの判断も難しくなります。

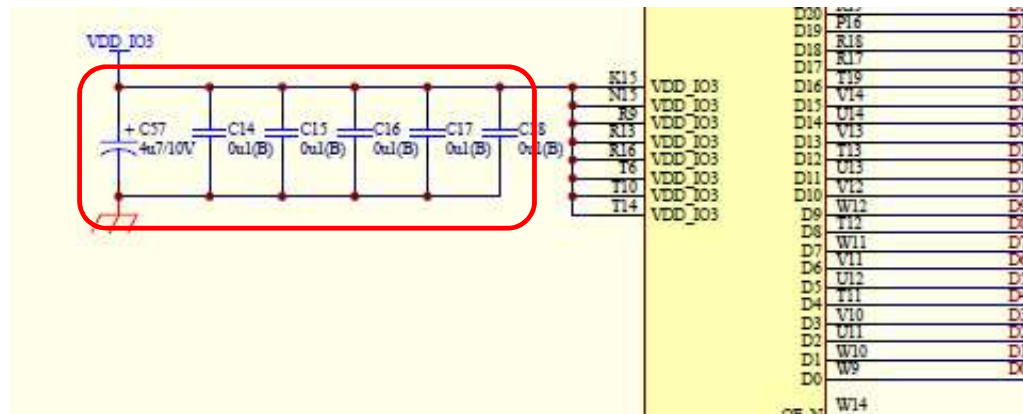
一方で、ハーモニック・バランス法は周波数ドメインでの非線形解析法で、定常解を直接得ることができます。時間軸の応答波形は2次解として得られます。

S-NAP/PCBは、ハーモニック・バランス法をベースにした非線形定常応答ソルバを実装しており、スイッチング動作の定常応答を高速に計算することができます。今回のサンプルは、この手法を用いて計算を行っています。

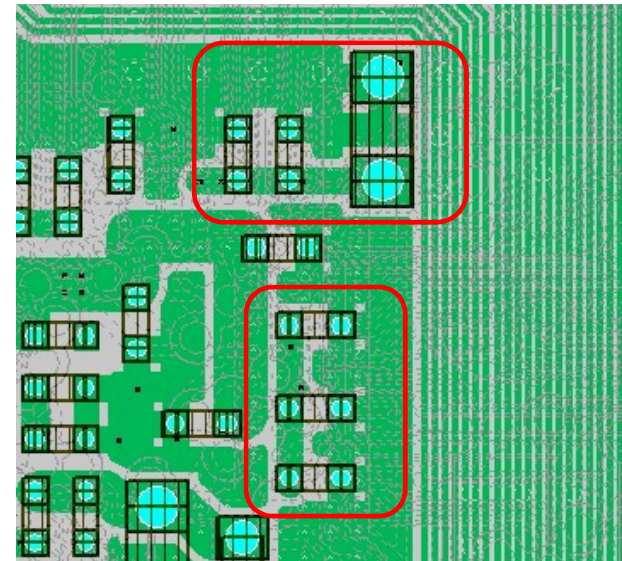


パソコンの電圧電流特性

非線形定常応答解析により、スイッチング時のパソコンの電圧・電流をシミュレーションにより解析してみます。ベンチにおける応答解析は、20秒程度で、全端子の電流電圧波形とスペクトルを得ることができます。



回路図上のパソコン

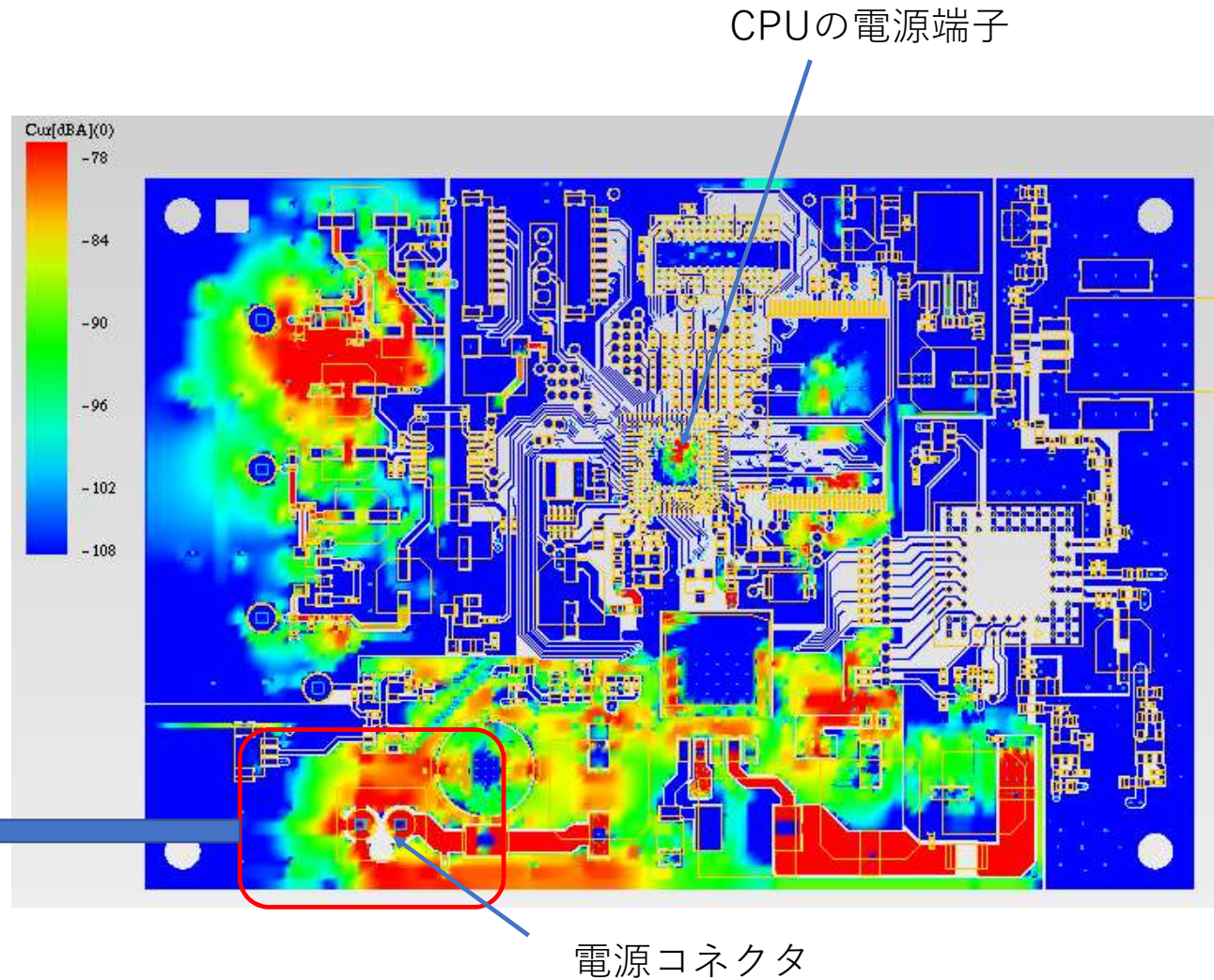
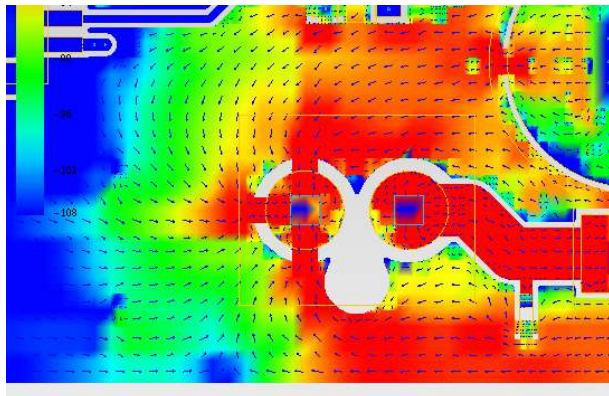


L6層に実装されたパソコン
U2のほぼ裏側

DC電流 L1層

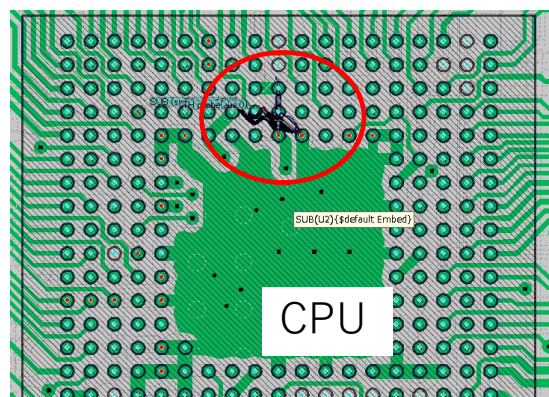
DC電流の電流分布を確認すると、電源コネクタ印加されたDC 5VがCPU電源端子に流れている様子が確認できます。

基板内のDCDCコンバータは動作させていません。DCDCコンバータノイズは別レポートで検討します。

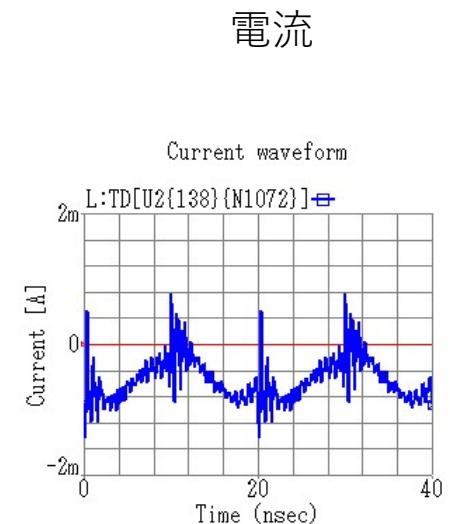
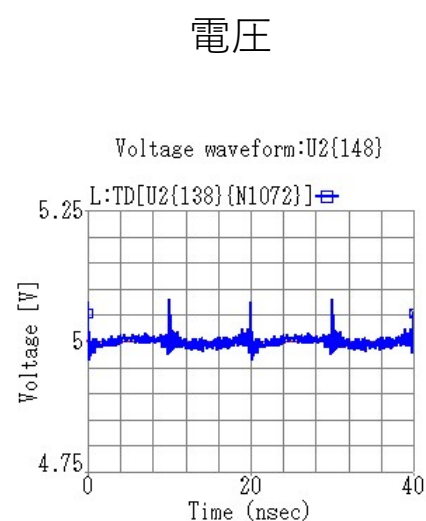


CPU (U2) 電源端子

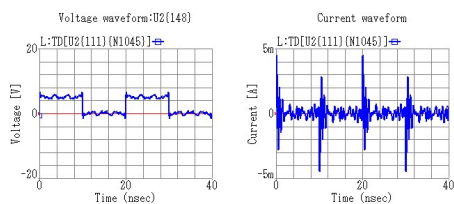
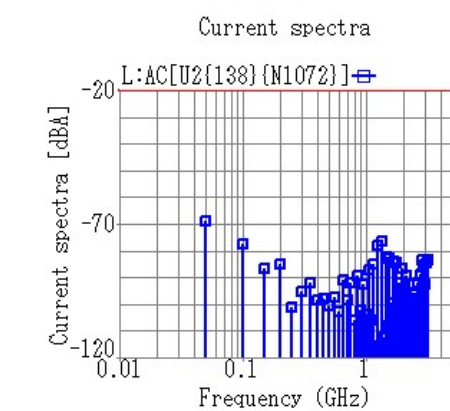
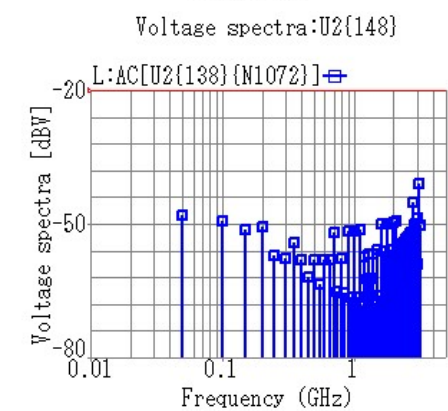
「同時スイッチングなし」でシミュレーションを行った場合のCPUの電源とグラウンド間特性を示します。80mVほどのスイッチングノイズが確認できます。



波形



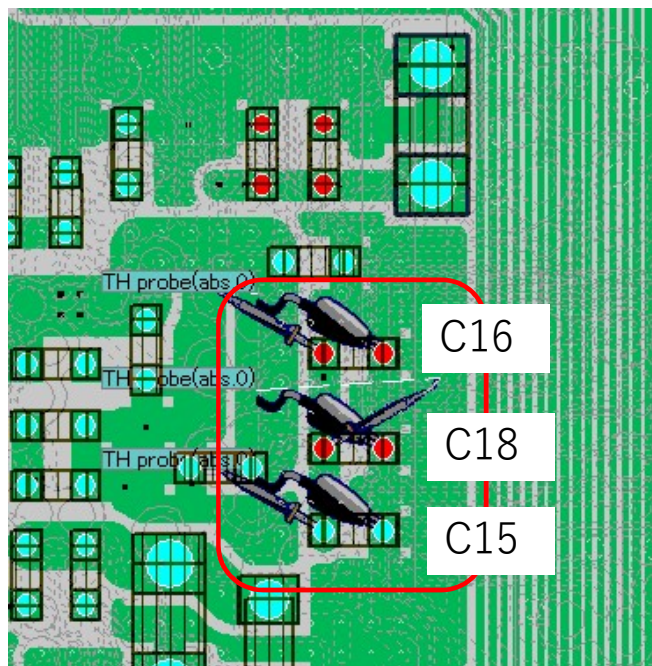
スペクトル



スイッチング出力

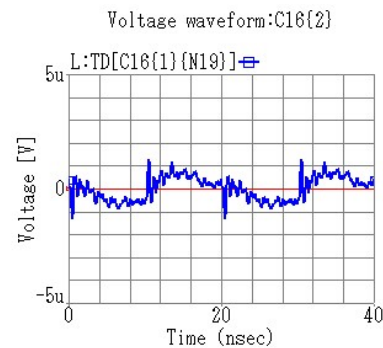
パソコンの電圧と電流 (C16,C18,C15)

「同時スイッチングなし」でシミュレーションを行った場合の、CPUのパソコンC15,C18,C16の電圧波形と電流波形です。これらのパソコンの電圧は、どれもほぼ5Vですので、ACプローブを用いて変動分だけを表示しています。電流波形は、パソコンの充放電電流になり、この中ではC16が最も大きいことがわかります。

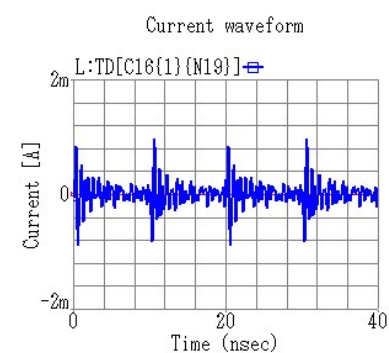


C16

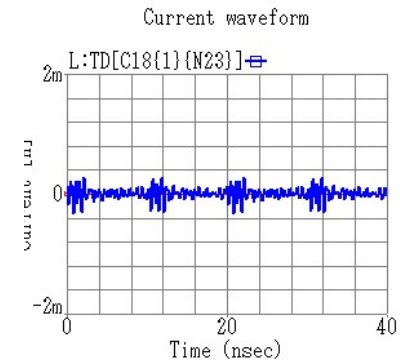
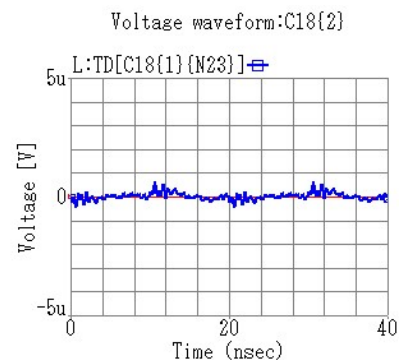
電圧変動(1uV/div)



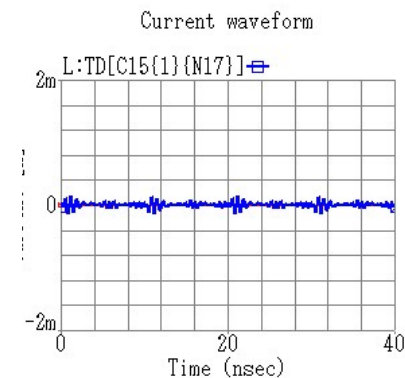
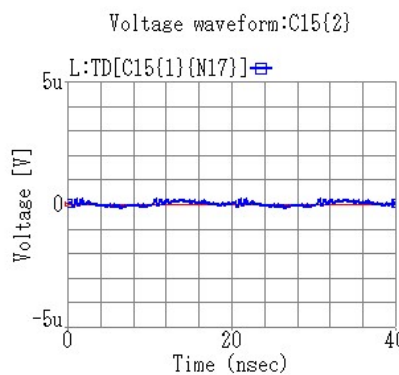
電流波形(400uA/div)



C18

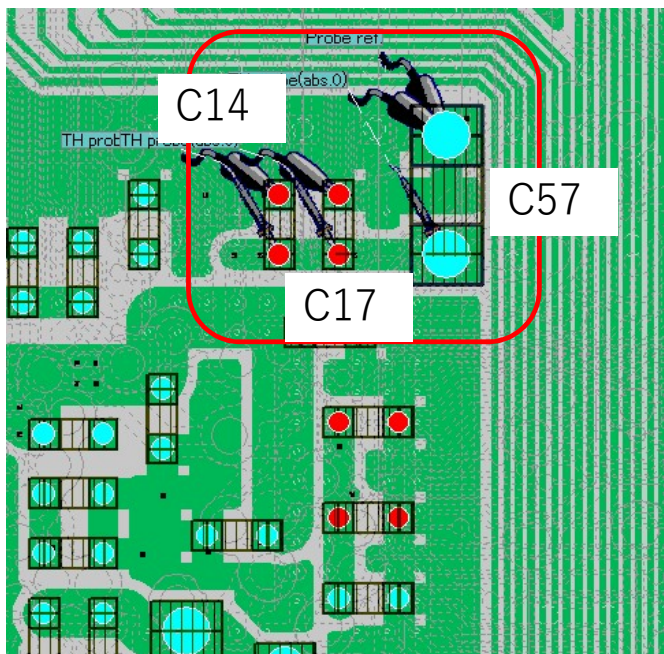


C15



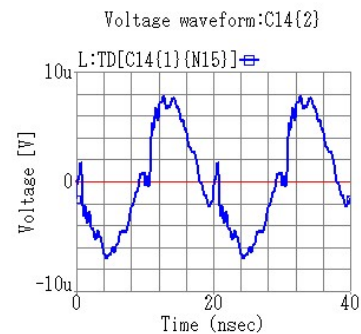
パソコンの電圧と電流 (C14,C17,C57)

C14,C17,C57の電圧波形と電流波形です。C57は4.7uFの電解コンデンサです。前ページのC16,C18,C15とはスケールが異なっていることに注意してください。
6個のパソコンの中で、C14に最も電流が流れていることがわかります。

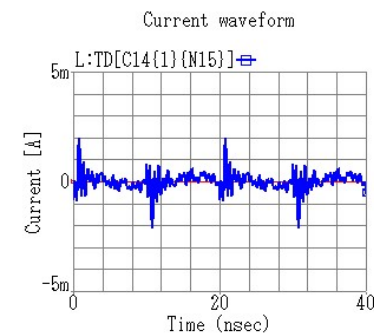


C14

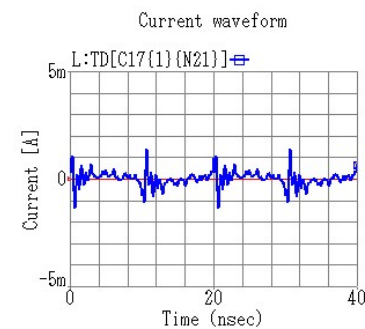
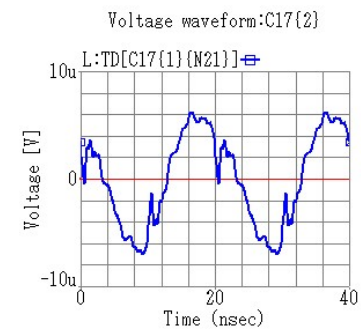
電圧変動(2uV/div)



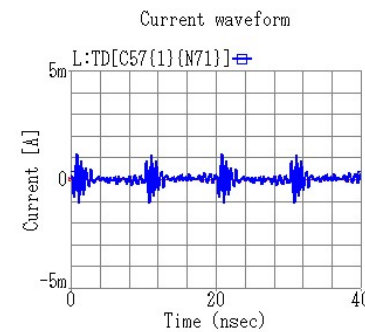
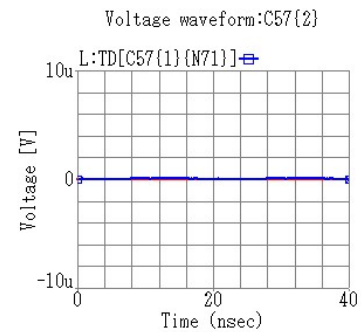
電流波形(1mA/div)



C17

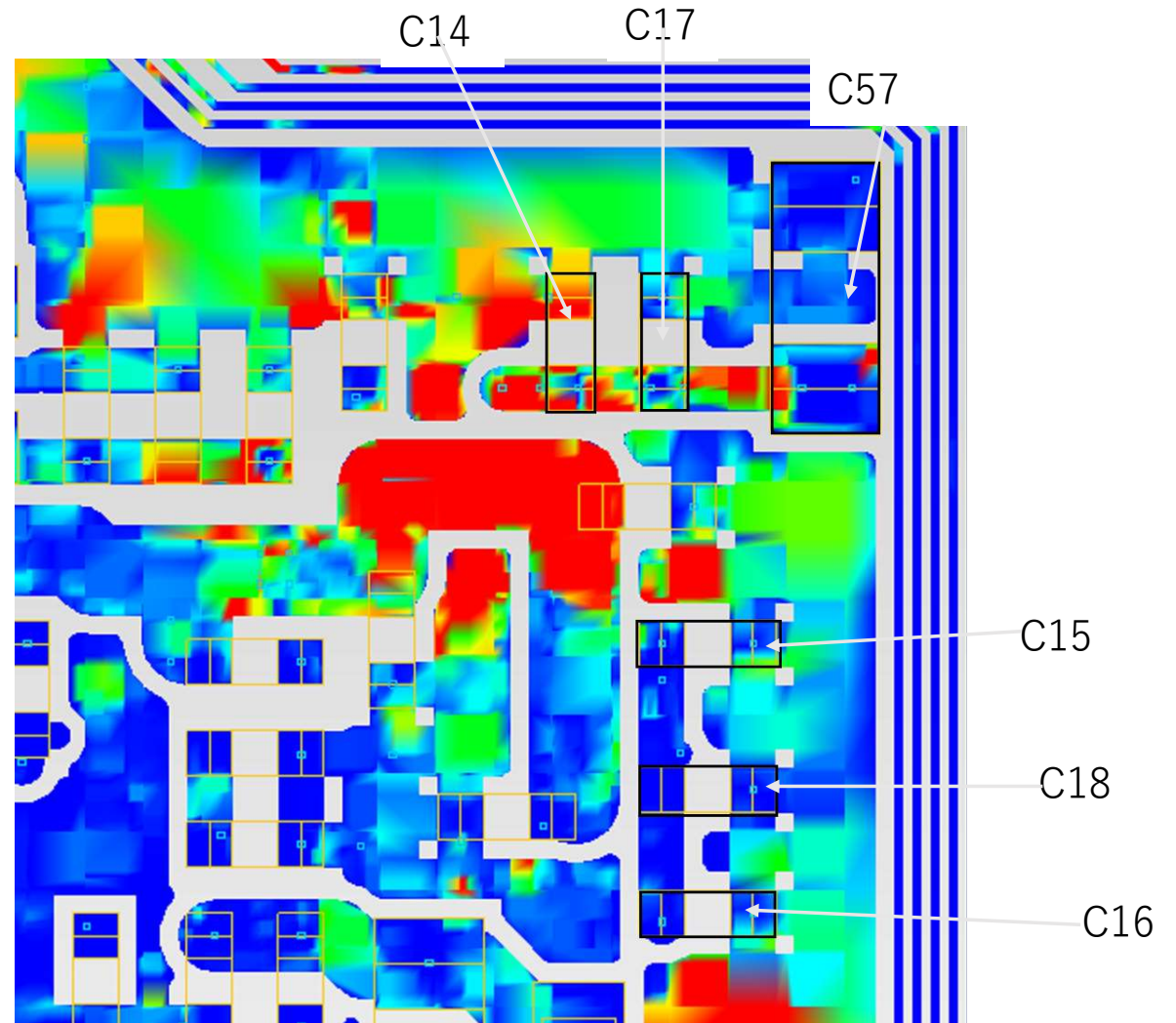


C57



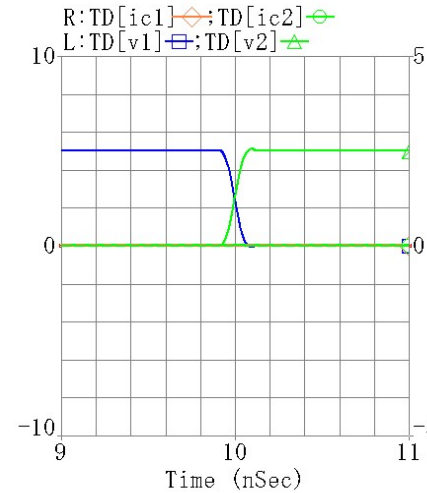
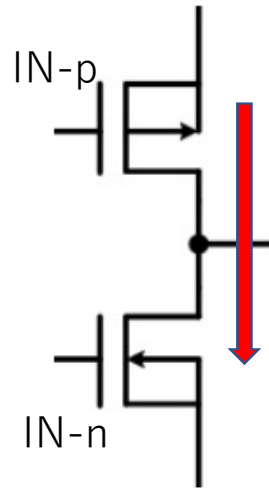
電流分布 @50MHz

パソコン周辺の50MHzの電流分布を示します。C14に最も電流が流れていることが、電流分布からも確認できます。

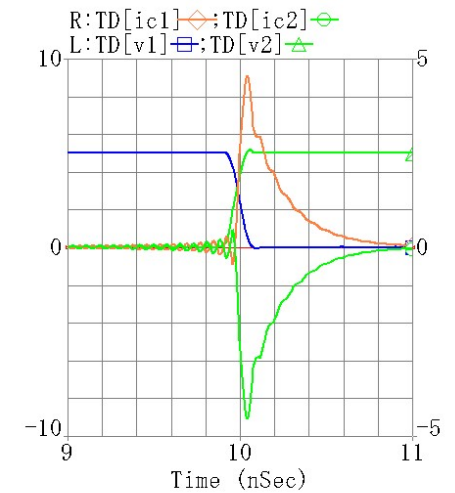


同時スイッチングの解析

この基板では、IN-pとIN-nに加えるスイッチングパルスの位相差を0.4度（約22psec）変えると、スイッチングノイズが急激に増加します。これは、図のように位相ずれの部分で、pチャンネルFETとnチャンネルFETが同時にONになるためと考えられます。このスイッチング状態において、CPUの電源端子とパソコンの電流電圧の解析を行ってみます。



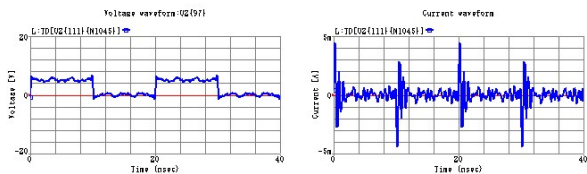
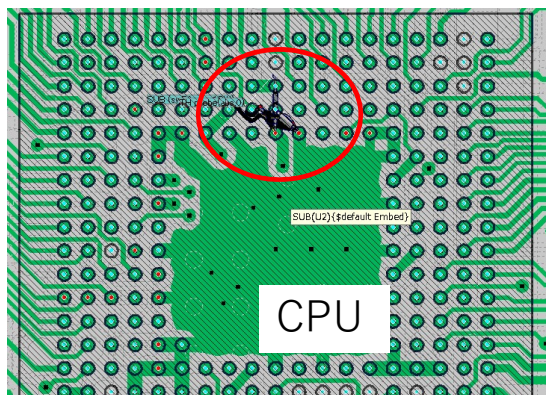
完全逆相状態



0.5度位相ずれの状態
(ic1,ic2はそれぞれのFET電流。わかりやすいように反転させている)

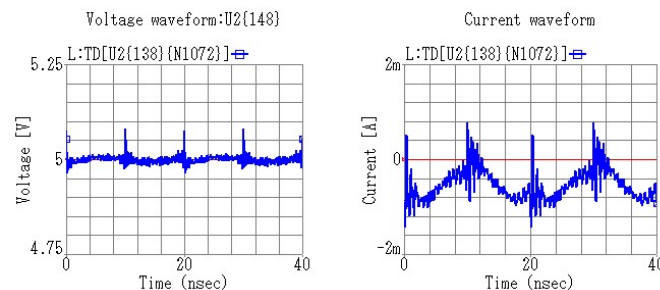
CPU (U2) 電源端子
(同時スイッチングあり)

「同時スイッチングあり」でシミュレーションを行った場合のCPUの電源ーグラウンド間特性を示します。300mV以上のスイッチングノイズが確認でき、正常時と比較すると3倍以上になっていることがわかります。スイッチング出力については、目視での変化はほとんど認められません。

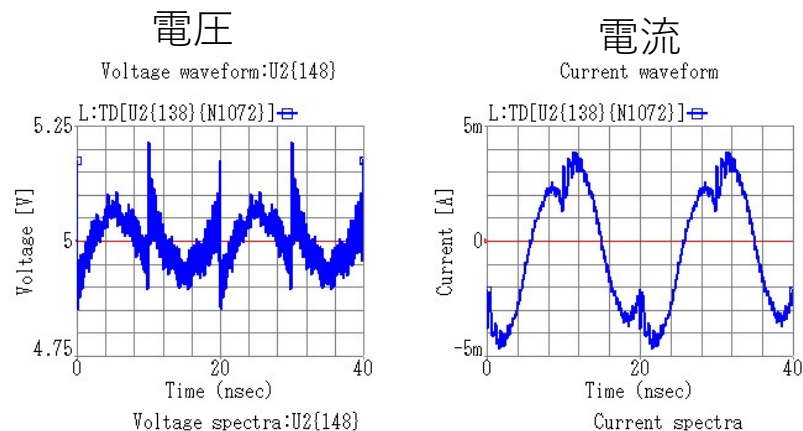


スイッチング出力

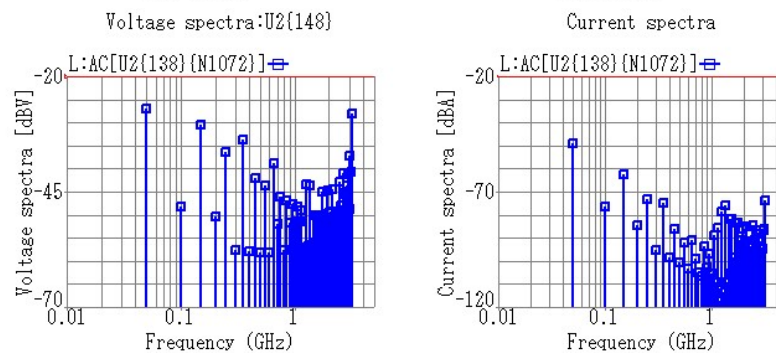
(参考) 正常時 (同時スイッチングなし) の電圧と電流



同時スイッチングあり、の時の電圧と電流



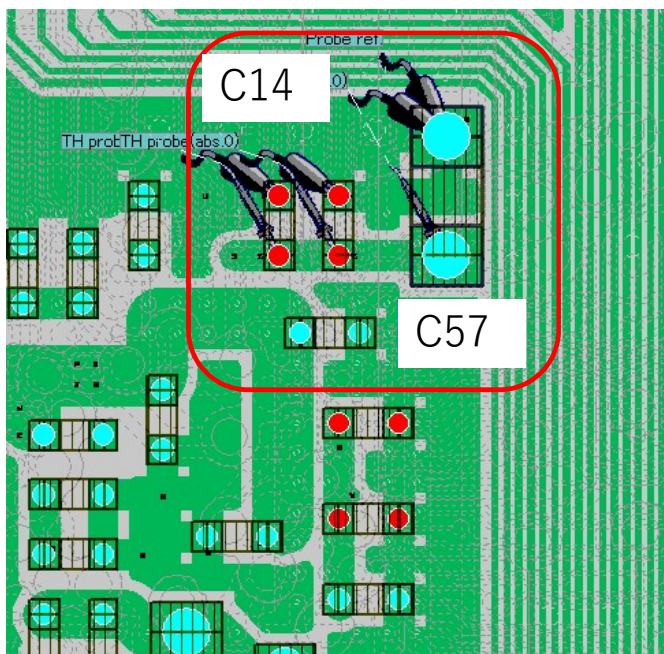
波形



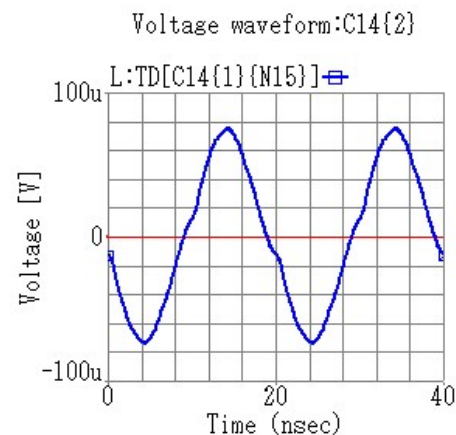
スペクトル

パソコンの電圧と電流 (C14,C57)
(同時スイッチングあり)

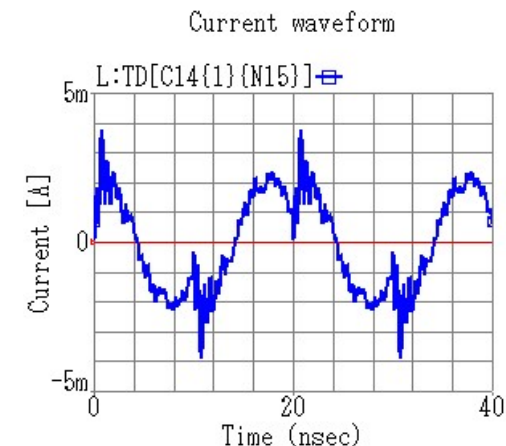
C14とC57の電圧変動と電流波形を示します。同時スイッチングなしの場合と比較し、C14は電圧変動が大きくなり、電流の変化も大きくなっています。一方、C57は全体的に50MHzのゆらぎは見えるものの、同時スイッチングなしの場合と比較し、さほど変化がないことがわかります。



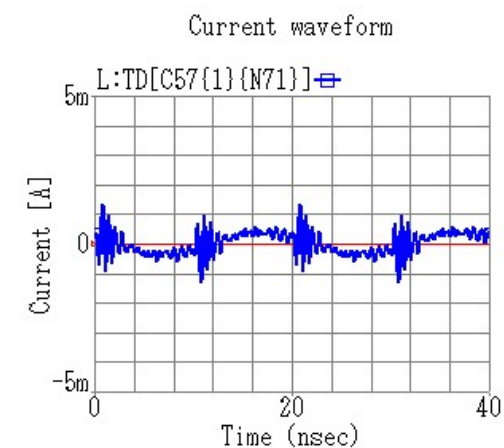
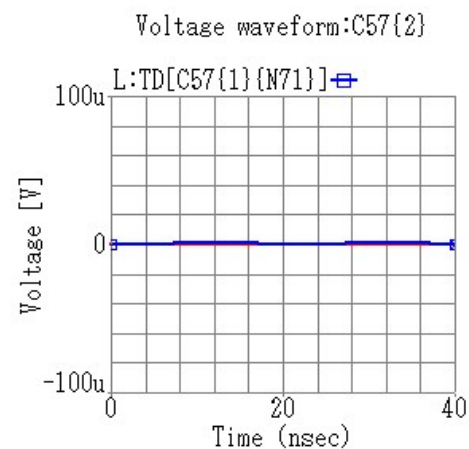
電圧変動(20uV/div)



電流波形(1mA/div)



C57

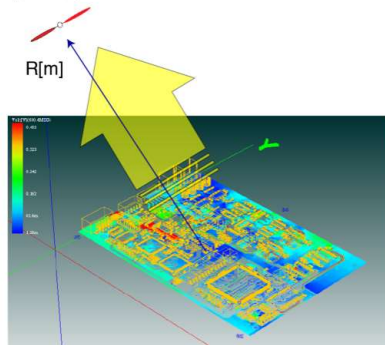


同時スイッチングがある場合とそうでない場合の3m地点電界強度の比較

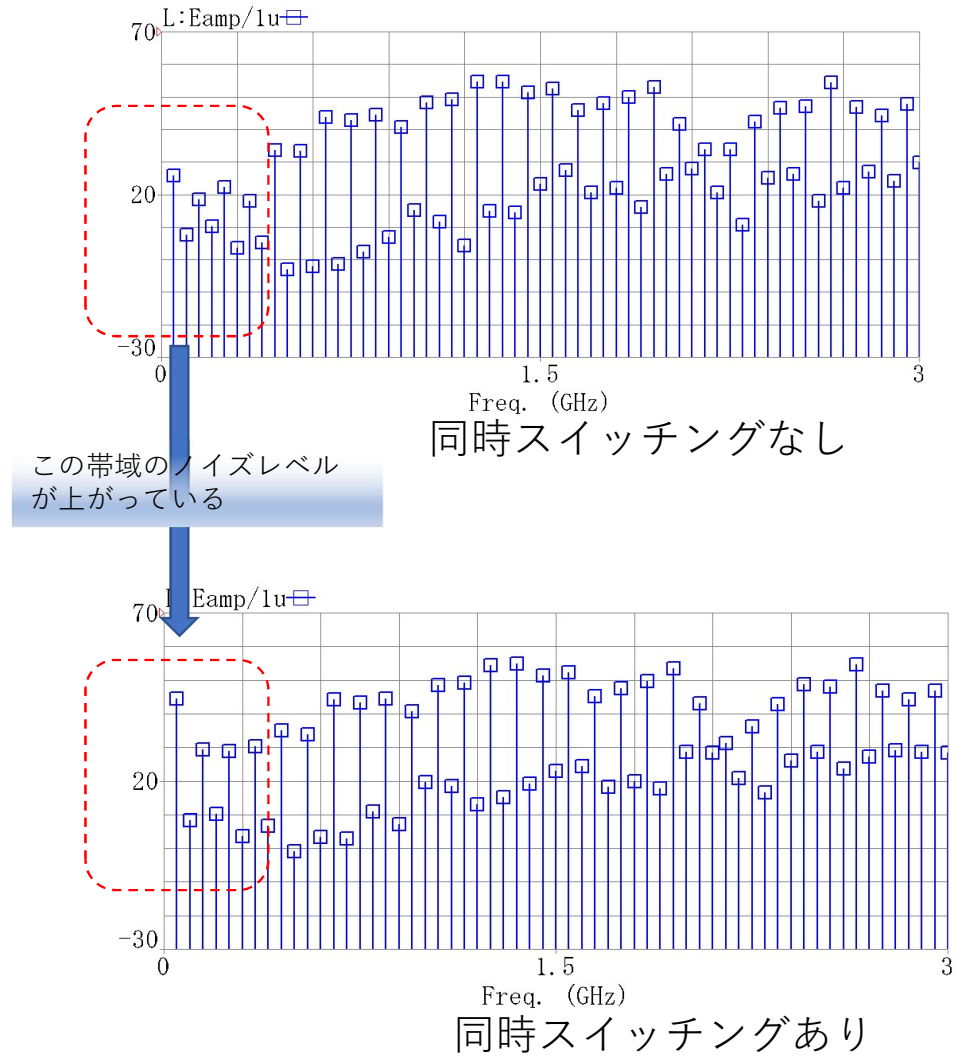
スイッチング動作時のパターンの電流分布から、R[m]における電界強度を計算できます。この機能により、同時スイッチングが発生した場合とそうでない場合の放射ノイズの差を知ることができます。

右図から、同時スイッチングが発生した場合、50MHz~350MHzまでのノイズスペクトルが10dB以上上がっていることが確認できます。

(R, θ , ϕ) の位置に置かれたアンテナ (イメージ)



イメージ図



まとめ

- ・ S-NAP PCB Suiteを用いて、CPUがスイッチング動作を行っている時のパスキンの状態を解析してみました。
- ・ スイッチング回路はインピーダンス可変回路ですので非線形解析が必要になりますが、電源系などの時定数の大きな回路は、過渡解析では定常項のみを抽出するのが大変な作業になります。
- ・ 今回ご紹介したハーモニック・バランス法ベースの非線形定常応答解析を用いると、基板実装状態でのスイッチング動作が、20秒ほどで高速に解析が可能です。
- ・ 解析例からわかるように、パスキンが複数実装されている場合、コンデンサの働き具合を知ることができます。
- ・ また、同時スイッチングによるノイズの増加もシミュレーションが可能で、同時スイッチング時の電源変動、パスキンの電流変動なども見ることができます。
- ・ 同時スイッチングにより放射ノイズも大きくなることが予想されますが、放射電界を解析の結果、低域における放射ノイズが増加していることがわかりました。